

Modélisation de la croissance des plantes

par Amal Choucri Catta

Le Centre Culturel Français de Mounira organisait récemment, en collaboration avec l'Institut Franco-Egyptien pour l'Enseignement des Mathématiques, de l'Information et des Sciences, une exposition sous le nom "Images du Futur. Elle était accompagnée de démonstrations sur ordinateurs, ainsi que de deux conférences : la première, intitulée "Modélisation de la croissance des plantes", de M. René Lecoustre, professeur au "CIRAD - Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement" de Montpellier, et la seconde intitulée "Images de Synthèse, exemples et applications", de M. Jean de Vaugelas, professeur à l'université de Nice. Quatre conférences supplémentaires eurent lieu à la faculté des Sciences de l'université du Caire, sur ces mêmes sujets qui, pour les amateurs, les profanes et pour ceux étrangers au langage des ordinateurs, semblaient relever du fabuleux ou du magique.

Les images évoquées comme outils de travail, de la découverte et de la pédagogie surprenante et certains hôtes remarquaient, non sans quelque sarcasme, que les artistes seront bientôt obligés de se vouer à d'autres professions, tandis que les académies d'art mourront, sous peu, fermer leurs portes. Les illustrations exposées n'avaient toutefois pas uniquement pour but d'éblouir le spectateur, mais d'évoquer les domaines multiples de recherches et d'applications techniques et pédagogiques sur lesquels s'étend la production d'images à partir d'ordinateurs, qui "vont de l'imitation toujours plus perfectionnée de la réalité à la création de nouveaux mondes immatériels". La mise en images permet, en effet, "de résumer des situations très complexes, mettant en jeu un très grand nombre de données numériques et faisant gagner un temps considérable au chercheur. Ce procédé que l'on appelle "l'infographie" est utilisé dans la modélisation de situations variées qui vont de la construction d'avions à l'étude de la croissance végétale ou de l'évolution de l'univers."

Notons que le CIRAD est un organisme scientifique spécialisé en agriculture des régions tropicales et subtropicales. Il est né en 1984 sous la forme d'un établissement public, de la fusion d'instituts de recherche en sciences agronomiques, vétérinaires, forestières et agro-alimentaires des régions chaudes.

Evoquant le travail de modélisation des plantes et le fonctionnement du laboratoire, M. René Lecoustre dit, au cours de sa conférence : "...C'est un laboratoire de modélisation qui travaille essentiellement sur les processus biologiques, c'est à dire sur tout ce qui est équilibre biologique, dynamique des phénomènes, biologie florale, croissance et archi-

réitération au sein de ces modèles.

Qu'est ce qui est très important dans la plante ? C'est essentiellement l'axe feuillé. Il crée la structure de la plante. C'est un élément individuel et indispensable. On y décrit ce qu'on appelle des noeuds. A chaque noeud est porté une ou plusieurs feuilles et, éventuellement, un ou plusieurs bourgeons axillaires, et l'intervalle compris entre deux noeuds est ce qu'on appelle l'entre-noeud. C'est essentiellement cet entre-noeud qui est utilisé dans nos mesures sur le terrain. C'est la mesure de base : les mesures de géométrie, phyllotaxie et angles d'insertion etc, n'étant que subsidiaires et non indispensables pour la simulation.



M. René Lecoustre,
professeur au CIRAD

Un autre point, qui est important dans la classification des plantes par Halle et ses collaborateurs, c'est l'ordre de ramification des axes. Le tronc est l'axe 1, les branches qui se ramifient directement sur ce tronc sont les ordres 2, etc. Généralement les plantes en climat tempéré comme en climat tropical s'arrêtent à un nombre 5. Un autre facteur important est l'arrangement des feuilles. Contre chaque noeud il y a une seule feuille et à chaque feuille il y a un angle déterminé, ou bien on a deux feuilles par noeud et, généralement dans ce cas, l'angle entre deux groupes de feuilles est de 90 degrés ; ou encore, on a une phyllotaxie, c'est à dire une foliation où les feuilles sont de part et d'autre, à 180 degrés de l'axe.

La croissance peut être rythmique, c'est généralement ce qui se passe dans les plantes à vagues de croissance, comme certaines plantes tropicales tel le manguié, ou des plantes tempérées qui poussent entre différentes saisons où l'on peut avoir une seule croissance, qui est

cas général des plantes tempérées. Elles peuvent également avoir plusieurs croissances dans l'année, comme certains abricotiers ou comme les peupliers. Généralement ces croissances commencent par des petites feuilles, des cicatrices d'écaillés qui se terminent à nouveau par des écaillés qui sont les bourgeons de l'année suivante.

Il y a des notions de ramification : elle est syllephtique si elle pousse en même temps que l'axe principal, ou prolephtique s'il y a un démarrage retardé. La ramification peut aussi être continue ou rythmique. Une autre ramification est celle dite sympodiale, dont l'exemple se retrouve sur des plantes connues, comme le laurier rose. Une notion importante en architecture des plantes est la réitération traumatique, qui est la possibilité pour la plante de répliquer exactement l'axe qui a été cassé. On trouve la même chose dans d'autres phénomènes naturels, comme les coraux. Il y a aussi des types de réitération non traumatique. Ce sont des réitérations qui se passent sur des branches horizontales : ainsi un vieil arbre tropical peut être constitué par une colonie d'arbres sur un seul tronc à la base. Il y a aussi plusieurs types de floraisons, dont celle apicale et celle latérale.

A partir de toutes ces notions, la plante ayant été analysée morcéau par morcéau, Halle et ses collaborateurs ont essayé de rassembler toutes les possibilités, et de travailler à classer les plantes sous forme de modèles architecturaux. Alors que théoriquement on pourrait avoir des milliers d'arrangements possibles de tous ces phénomènes, on ne retrouve qu'une vingtaine de modèles architecturaux principaux, essentiellement représentés dans les plantes tropicales. Les plantes tempérées possèdent environ cinq modèles différents.

Les idées principales de la modélisation mathématique ont été mises au point dans le cadre de la modélisation et de la simulation d'un caféier en Côte d'Ivoire, par Philippe de Réffé. L'idée principale est simplement que la plante est le résultat de l'activité de ses bourgeons et que la chose qu'on voit dans une plante c'est la trajectoire de ceux-ci. Et l'activité d'un bourgeon est décrite, en fait, par trois paramètres principaux qui dépendent du modèle architectural et de l'âge de la

plante puisqu'il y a un vieillissement de celle-ci à un certain moment : c'est l'activité de vie du bourgeon, l'activité de croissance et le problème de ramification de ce bourgeon.

L'idée de base du travail est de prendre en compte qu'il existe dans la plante une horloge interne qui est à rapprocher de ce que les botanistes appellent un plastocron, qui ne dépend pas du temps réel de l'extérieur, la plante évoluant différemment dans le temps, suivant la température, la pluviométrie etc. Les mesures qui sont faites sur le terrain consistent à compter les unités de croissance et, au sein de celles-ci, à compter les autres noeuds qui ont été élaborés. On classe les résultats obtenus suivant les ordres de ramification sur la plante, suivant des séquences dans le temps continu — par exemple, la poussée de l'année 88, puis 89 et 90 — pour étudier de façon successive les corrélations entre elles et la manière dont se développent les ramifications, et la mortalité des bourgeons terminaux.

Pour la modélisation de l'activité des bourgeons, il faut analyser la distribution des entre-noeuds qu'on a mesurés. Ensuite on analyse aussi les corrélations entre les différents types d'activité de bourgeons. La modélisation ayant été abordée, on passe à la simulation.

Les idées principales de celle-ci ont été de ne faire qu'un seul logiciel de simulation pour toutes les plantes. La deuxième chose importante, c'est de faire une simulation stochastique, c'est à dire une simulation d'événements au hasard. Ce qui nous a paru important pour la simulation, c'est de séparer les notions de topologie des notions de géométrie et, pour un premier temps, c'est d'avoir un calcul en nombre préfixé. Tous les paramètres de géométrie sont définis dans le programme actuel par ordre de branchement. Les indications sont portées sur un fichier qui est une description à la fois topologique et géométrique de la plante dans l'espace...

Poursuivant ses explications par la projection d'un grand nombre de diapos, M. Lecoustre évoqua le processus de ce travail et présenta les résultats relatifs à certains projets. Notons que la mission du CIRAD est de contribuer au développement des régions chaudes par des recherches, des réalisations expérimentales, par la formation ainsi que par l'information scientifique et techni-